



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**Facultad de Ciencia y Tecnología  
Escuela de Ingeniería Automotriz**

**Análisis de la demanda energética y factor de emisión de CO<sub>2</sub> del  
Tranvía de Cuenca**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Nombre del autor:**

**Iván Andrés Matute Ávila**

**Nombre del director:**

**Ing. Daniel Guillermo Cordero Ph.D.**

**Cuenca-Ecuador**

**2026**

## **Dedicatoria:**

Este logro es el resultado de un proceso que no recorrí solo, exigió esfuerzo, constancia y determinación en cada etapa.

A Dios, por darme la fuerza en los momentos más difíciles y la sabiduría para alcanzar este objetivo.

A mi madre, Jenny, por su apoyo incondicional, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este camino, estando presente incluso en los momentos más difíciles, cuidándome cuando más lo necesité y siendo siempre mi cómplice en cada idea y decisión que he tomado.

A mi padre, Iván, quien me inculcó el valor de dar siempre lo mejor de mí, sin importar el camino elegido.

A mi hermano Kevin, cuya presencia constante y acompañamiento han sido fundamentales en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hermano Alexis, que ha sido una fuente constante de motivación, impulsándome a superarme y a dar lo mejor de mí cada día.

A mi pareja, Emily, quien ha estado a mi lado en los momentos más exigentes de este proceso, brindándome apoyo y fortaleza para no rendirme.

**Iván Andrés Matute A.**

### **Agradecimiento:**

A Dios, quien me ha brindado la vida, la fortaleza y la oportunidad de culminar esta etapa.

A mi madre, Jenny, por su apoyo incondicional, su dedicación constante y por estar presente en cada momento de este proceso.

A mi padre, Iván, gracias a su respaldo y por el apoyo económico brindado que hizo posible continuar con mi formación académica.

A mi hermano Kevin, quien me ha acompañado en cada etapa importante, ofreciéndome siempre su apoyo.

A mi hermano Alexis, por ser una inspiración constante y una razón para superarme cada día.

A mi pareja, Emily, quien me brindó apoyo, comprensión y acompañamiento a lo largo de este proceso.

A mi amigo Pablo, quien aportó con su experiencia en la Universidad del Azuay, brindándome orientación y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de forma directa o indirecta, hicieron posible la realización de este trabajo.

## Índice de Contenidos

Dedicatoria: .....	ii
Agradecimiento: .....	iii
Índice de figuras. ....	v
Índice de tablas .....	v
Resumen .....	vi
Abstract.....	vii
I.Introducción .....	1
II.Materiales y métodos .....	3
A. Adquisición de datos .....	3
B. Procesamiento de datos .....	3
C. Modelado energético del tranvía .....	4
D. Análisis de componentes energéticos .....	6
E. Selección del ciclo típico de conducción. ....	6
F. Cálculo de emisiones. ....	6
III.Resultados.....	6
IV.Conclusiones .....	9
V.Referencias .....	10
VI.Anexos.....	12

## Índice de figuras.

Fig. 1. Tranvía de Cuenca durante un recorrido de prueba el 21 de febrero de 2020 .....	2
Fig. 2. Evolución de la matriz eléctrica ecuatoriana 2014–2024.....	2
Fig. 3. Diagrama de flujo del procesamiento de datos. ....	4
Fig. 4. Perfil de velocidad del tranvía en función del tiempo obtenido a partir de los datos registrados con Torque Pro. ....	4
Fig. 5. Diagrama del modelo de simulación energética del tranvía, incluyendo el cálculo de fuerzas, la determinación de la potencia en rueda, la separación entre tracción y frenado regenerativo, y el balance energético final. ....	6
Fig. 6. Ciclo de conducción seleccionado sentido Río Tarqui – Parque Industrial. ....	7
Fig. 7. Ciclo de conducción seleccionado Parque Industrial – Río Tarqui. ....	7
Fig. 8. Comparación entre la demanda energética estimada y real del Tranvía de Cuenca. ....	9

## Índice de tablas

Tabla 1. Paradas del Tranvía de Cuenca.....	2
Tabla 2. Especificaciones del dispositivo y la aplicación utilizados para la adquisición de datos. ....	3
Tabla 3. Parámetros de simulación.....	4
Tabla 4. Ponderación energías sentido RT – PI. ....	6
Tabla 5. Ponderación energías sentido PI – RT.....	6
Tabla 6. Ciclo típico de conducción .....	7
Tabla 7. Datos de las rutas seleccionadas.....	7
Tabla 8. Demanda energética (RT-PI) en diferentes escenarios .....	8
Tabla 9. Demanda energética (PI-RT) en diferentes escenarios .....	8
Tabla 10. Factores de emisión por pasajero – km (RT-PI).....	8
Tabla 11. Factores de emisión por pasajero – km (PI – RT).....	8
Tabla 12. Comparación entre la demanda energética mensual estimada mediante el modelo desarrollado y la demanda energética real reportada por el sistema tranviario para los meses analizados. ....	8
Tabla 13. Tabla de comparación con otros medios de transporte .....	9

# Análisis de la demanda energética y factor de emisión de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca

## Resumen

Actualmente, la búsqueda de alternativas de transporte más eficientes y con menor impacto ambiental ha impulsado el análisis de sistemas de movilidad eléctrica en entornos urbanos. En este trabajo se evalúa la demanda energética y las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca utilizando datos obtenidos en condiciones reales de operación. Para ello, se empleó la aplicación Torque Pro para registrar variables como velocidad, tiempo y distancia durante distintos recorridos del sistema tranviario. A partir de esta información se construyó un ciclo típico de conducción y se desarrolló un modelo en Matlab/Simulink para estimar la potencia requerida, el consumo energético y el efecto del frenado regenerativo. Los resultados obtenidos muestran una demanda energética promedio en batería de 9.26 kWh para el recorrido Río Tarqui – Parque Industrial y de 24.15 kWh para el recorrido Parque Industrial – Río Tarqui. Estos valores representan un rendimiento energético aproximado de 1.05 km/kWh y 0.39 km/kWh, respectivamente, lo que evidencia la influencia de la topografía de la ruta, la ocupación de pasajeros y las condiciones de operación sobre el comportamiento energético del sistema. Además, se estimaron emisiones indirectas promedio de 1.50 kg CO<sub>2</sub>/ruta y 3.90 kg CO<sub>2</sub>/ruta para cada sentido de circulación. En conjunto, los resultados obtenidos aportan una base técnica para evaluar el desempeño energético y ambiental del Tranvía de Cuenca dentro del marco de la movilidad urbana sostenible.

**Palabras clave:** *Tranvía de Cuenca; demanda energética; emisiones de CO<sub>2</sub>; movilidad sostenible; frenado regenerativo.*

# Analysis of Energy Demand and Indirect CO<sub>2</sub> Emissions of the Cuenca Tram System

## Abstract

Sustainable urban transport systems have become an important alternative for reducing energy consumption and environmental impact in urban areas. This study evaluates the energy demand and indirect CO<sub>2</sub> emissions of the Cuenca Tram using data collected under real operating conditions. For this purpose, the Torque Pro application was used to record variables such as speed, time, and distance during several tram routes. Based on these data, a typical driving cycle was developed and a Matlab/Simulink simulation model was implemented to estimate power requirements, energy consumption, and the effect of regenerative braking. The obtained results show an average battery energy demand of 9.26 kWh for the Río Tarquí–Parque Industrial route and 24.15 kWh for the Parque Industrial–Río Tarquí route. These values correspond to energy efficiencies of approximately 1.05 km/kWh and 0.39 km/kWh, respectively, highlighting the influence of route topography, passenger occupancy, and operating conditions on the tram's energy performance. In addition, average indirect emissions of 1.50 kg CO<sub>2</sub>/route and 3.90 kg CO<sub>2</sub>/route were estimated for each direction of operation. Overall, the results provide a technical basis for evaluating the energy and environmental performance of the Cuenca Tram within the context of sustainable urban mobility.

**Keywords:** *Cuenca Tram; energy demand; CO<sub>2</sub> emissions; sustainable mobility; regenerative braking.*

Trabajo de titulación.

Iván Andrés Matute Ávila

Mayo, 2026

# **Análisis de la demanda energética y emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca**

*Caso de estudio: Análisis energético en operación urbana.*

## **Introducción**

Los sistemas de transporte eléctrico urbano representan una alternativa sostenible frente a los medios de transporte convencionales, debido a su mayor eficiencia energética y menores emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. En este sentido, el Tranvía de Cuenca constituye uno de los principales proyectos de transporte eléctrico urbano del país, en concordancia con los compromisos de movilidad sostenible establecidos por Ecuador mediante las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) [1]

Sin embargo, la información disponible sobre su desempeño energético en condiciones reales de operación es limitada, especialmente en lo relacionado con la demanda energética en batería y las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> asociadas a su consumo eléctrico. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es determinar la demanda energética y las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca mediante la caracterización de un ciclo típico de conducción, con el fin de evaluar su desempeño energético y ambiental bajo condiciones reales de operación.

# Análisis de la demanda energética y emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca

*Caso de estudio: Análisis energético en operación urbana.*

Matute Ávila Iván Andrés

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología,

Escuela de Ingeniería Automotriz,

Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador

andresm@es.uazuay.edu.ec

## **Resumen**

Actualmente, la búsqueda de alternativas de transporte más eficientes y con menor impacto ambiental ha impulsado el análisis de sistemas de movilidad eléctrica en entornos urbanos. En este trabajo se evalúa la demanda energética y las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca utilizando datos obtenidos en condiciones reales de operación. Para ello, se empleó la aplicación Torque Pro para registrar variables como velocidad, tiempo y distancia durante distintos recorridos del sistema tranviario. A partir de esta información se construyó un ciclo típico de conducción y se desarrolló un modelo en Matlab/Simulink para estimar la potencia requerida, el consumo energético y el efecto del frenado regenerativo. Los resultados obtenidos muestran una demanda energética promedio en batería de 9.26 kWh para el recorrido Río Tarquí – Parque Industrial y de 24.15 kWh para el recorrido Parque Industrial – Río Tarquí. Estos valores representan un rendimiento energético aproximado de 1.05 km/kWh y 0.39 km/kWh, respectivamente, lo que evidencia la influencia de la topografía de la ruta, la ocupación de pasajeros y las condiciones de operación sobre el comportamiento energético del sistema. Además, se estimaron emisiones indirectas promedio de 1.50 kg CO<sub>2</sub>/ruta y 3.90 kg CO<sub>2</sub>/ruta para cada sentido de circulación. En conjunto, los resultados obtenidos aportan una base técnica para evaluar el desempeño energético y ambiental del Tranvía de Cuenca dentro del marco de la movilidad urbana sostenible.

**Palabras clave:** *Demanda energética; eficiencia energética; emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>; tranvía de Cuenca; ciclo típico de conducción; movilidad urbana sostenible.*

## **Abstract**

Sustainable urban transport systems have become an important alternative for reducing energy consumption and environmental impact in urban areas. This study evaluates the energy demand and indirect CO<sub>2</sub> emissions of the Cuenca Tram using data collected under real operating conditions. For this purpose, the Torque Pro application was used to record variables such as speed, time, and distance during several tram routes. Based on these data, a typical driving cycle was developed and a Matlab/Simulink simulation model was implemented to estimate power requirements, energy consumption, and the effect of regenerative braking. The obtained results show an average battery energy demand of 9.26 kWh for the Río Tarquí–Parque Industrial route and 24.15 kWh for the Parque Industrial–Río Tarquí route. These values correspond to energy efficiencies of approximately 1.05 km/kWh and 0.39 km/kWh, respectively, highlighting the influence of route topography, passenger occupancy, and operating conditions on the tram's energy performance. In addition, average indirect emissions of 1.50 kg CO<sub>2</sub>/route and 3.90 kg CO<sub>2</sub>/route were estimated for each direction of operation. Overall, the results provide a technical basis for evaluating the energy and environmental performance of the Cuenca Tram within the context of sustainable urban mobility.

**Keywords:** Energy demand; energy efficiency; indirect CO<sub>2</sub> emissions; Cuenca tram; typical driving cycle; sustainable urban mobility

## I. Introducción

Los sistemas de transporte eléctrico urbano representan una alternativa sostenible frente a los medios de transporte convencionales debido a su mayor eficiencia energética y menores emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. En este contexto, el Tranvía de Cuenca constituye uno de los principales proyectos de transporte eléctrico urbano del país, alineado con los compromisos de movilidad sostenible establecidos por Ecuador mediante las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), orientadas a la reducción de emisiones y a la transición hacia sistemas de transporte más eficientes [2]

El sistema tranviario de la ciudad de Cuenca, implementado en el año 2020, presenta una longitud aproximada de 10,2 km por sentido, cuenta con alrededor de 20 paradas y una flota de 14 unidades, lo que permite incorporarlo como una alternativa de transporte masivo eléctrico dentro de la movilidad urbana de la ciudad [3]. En la Tabla 1 se presentan las principales paradas que conforman el recorrido del sistema tranviario, distribuidas según los sectores urbanos por donde circula la línea, de acuerdo con la información reportada por [4]. Por otro lado, en la Fig. 1 se presenta una unidad del tranvía durante su operación en entorno urbano, como se documenta en [5].

Tabla 1. Paradas del Tranvía de Cuenca.

Av. De las Américas	Av. Mariscal Lamar	Av. Gran Colombia	Av. España
1. Control Sur	8n. Ordóñez Lazo	8s. Ordóñez Lazo	16. Chola Cuencana
2. Camino a Baños	9n. Guillermo Medina	9s. Miguel Morocho	17. Terminal Terrestre
3. Mísicata	10n. Miguel Morocho	10s. Abraham Sarmiento	18. Aeropuerto
4. Yanuncay	11n. Abraham Sarmiento	11s. Miguel Vélez	19. España
5. CREA	12n. Miguel Vélez	12s. Tarqui	20. Parque Industrial
6. Arenal	13n. Tarqui	13s. Luis Cordero	
7. Tomebamba	14n. Luis Cordero	14s. 9 de octubre	
	15n. 9 de octubre	15s. Manuel Vega	



Fig. 1. Tranvía de Cuenca durante un recorrido de prueba el 21 de febrero de 2020

En términos energéticos, el análisis del tranvía requiere considerar tanto la energía consumida durante su operación como las emisiones indirectas asociadas a dicha energía. Estas emisiones dependen directamente del factor de emisión del sistema eléctrico, el cual relaciona la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por cada unidad de energía consumida [6] En Ecuador, la energía eléctrica proviene del Sistema Nacional Interconectado, cuya matriz presenta una alta participación de generación hidroeléctrica, complementada por fuentes termoeléctricas y no convencionales [7].

Como se muestra en la Fig. 2, la evolución de la matriz eléctrica ecuatoriana durante el período 2014–2024 evidencia que la generación hidroeléctrica mantiene una participación predominante; sin embargo, también se observan variaciones en la generación termoeléctrica, no convencional y en las importaciones. Estas variaciones influyen directamente en el cálculo del factor de emisión asociado al consumo eléctrico del tranvía, como se reporta en [7] y [8].

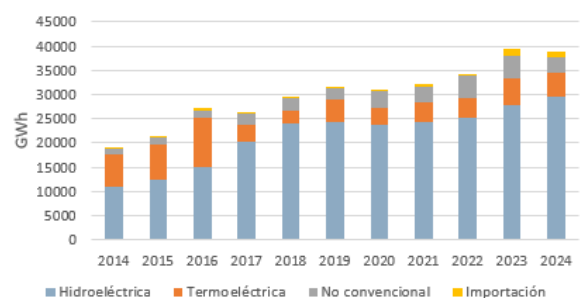


Fig. 2. Evolución de la matriz eléctrica ecuatoriana 2014–2024.

A pesar de que existen estudios previos sobre el Tranvía de Cuenca, estos se han enfocado principalmente en el análisis del comportamiento eléctrico del material rodante y su integración al sistema eléctrico nacional. En este contexto, se dispone del modelado del tren Citadis-302

desarrollado por [9], así como de trabajos orientados al análisis de flujos de potencia y su conexión al Sistema Nacional Interconectado [10]

No obstante, estos enfoques no consideran de manera integrada la estimación de la demanda energética por recorrido, la recuperación de energía mediante frenado regenerativo ni la cuantificación de emisiones indirectas en términos de pasajero-kilómetro.

Desde el punto de vista dinámico, el movimiento del tranvía puede analizarse a partir de las principales fuerzas que intervienen en su desplazamiento, entre las que se incluyen la fuerza aerodinámica, la fuerza de rodadura, la componente asociada a la pendiente y el efecto de la inercia, ampliamente utilizadas en el estudio del comportamiento de vehículos[11]

En este contexto, resulta relevante realizar una evaluación en condiciones reales de operación que permita determinar la demanda energética del sistema y caracterizar su comportamiento de conducción, entendido como la secuencia de aceleración, circulación a velocidad de servicio, frenado con recuperación de energía y detención en cada parada del recorrido [12].

La ausencia de este tipo de análisis limita la estimación precisa del consumo energético neto, la contribución de la recuperación de energía durante el frenado y las emisiones indirectas asociadas a su funcionamiento, las cuales dependen directamente del factor de emisión del sistema eléctrico nacional [7], [8].

Por esta razón, el presente estudio tiene como objetivo determinar la demanda energética y las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> del Tranvía de Cuenca mediante la caracterización de su operación en condiciones reales, con el fin de evaluar su desempeño energético y ambiental.

## II. Materiales y métodos

Para la obtención de los datos de operación del tranvía se empleó la aplicación Torque Pro, instalada en un dispositivo móvil Infinix Note 40 Pro+ 5G, la cual permitió registrar variables como velocidad, tiempo y distancia durante la operación del sistema. El dispositivo utilizó el sistema GPS integrado del teléfono móvil y fue sostenido

manualmente en una ubicación similar dentro de la unidad tranviaria durante los recorridos. Las especificaciones del dispositivo y la aplicación utilizada se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones del dispositivo y la aplicación utilizados para la adquisición de datos.

Parámetro	Descripción
Dispositivo	Infinix Note 40 Pro+ 5G
Sistema operativo	Android
Aplicación	Torque Pro
Tipo de adquisición	Tiempo real
Frecuencia de muestreo	1 Hz
Variables registradas	Velocidad, tiempo, distancia
Formato de salida	.csv
Uso del sistema	Registro de datos durante la operación del tranvía

### A. Adquisición de datos

Durante la adquisición de datos, el dispositivo se mantuvo en condiciones que garantizaron un registro continuo y estable de la información, procurando minimizar posibles interferencias.

Para la adquisición de datos se realizaron 30 viajes completos, distribuidos en 15 recorridos en el sentido Río Tarqui–Parque Industrial y 15 recorridos en el sentido Parque Industrial–Río Tarqui, lo que permitió disponer de una base de datos representativa de las condiciones reales de operación en ambos sentidos, principalmente en términos de velocidad, tiempo y comportamiento dinámico del tranvía.

### B. Procesamiento de datos

La información registrada fue posteriormente exportada en formato .csv y procesada en hojas de cálculo, donde se realizó la depuración y organización de las variables necesarias para el análisis. El procedimiento de procesamiento de datos se resume en el diagrama de flujo presentado en la Fig. 3, el cual describe las etapas desde la adquisición de datos hasta la generación del perfil velocidad–tiempo.



Fig. 3. Diagrama de flujo del procesamiento de datos.

Con el fin de ilustrar el tipo de información obtenida mediante la aplicación Torque Pro, se presenta a continuación el perfil de velocidad en función del tiempo correspondiente a uno de los recorridos registrados. Esta representación permite evidenciar las variaciones de velocidad del tranvía durante su operación, incluyendo las fases de aceleración, circulación y detención.

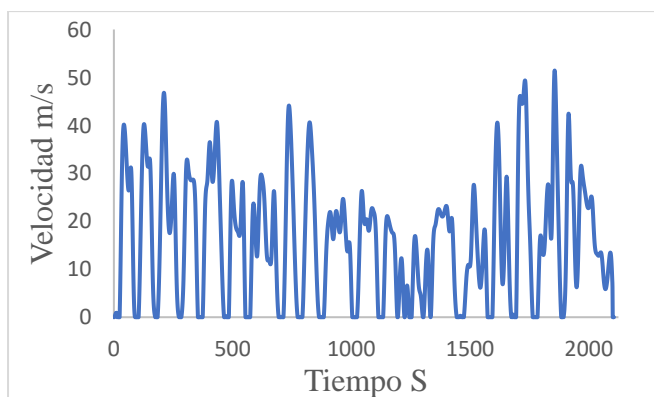


Fig. 4. Perfil de velocidad del tranvía en función del tiempo obtenido a partir de los datos registrados con Torque Pro.

Para la construcción del ciclo típico de conducción basado en componentes energéticas, fue necesario definir previamente los parámetros físicos del tranvía, los cuales intervienen en el cálculo de las fuerzas, la potencia y la energía del sistema.

Tabla 3. Parámetros de simulación

Parámetro	Valor	Unidad
Masa	41939	[kg]
Coefficiente aerodinámico (Cd)	0.7	[-]
Coefficiente de rodadura (fr)	0.002	[-]
Presión de aire	75	[kPa]
Temperatura	15	[Grados centígrados]
Área Frontal (A)	8.5	[m <sup>2</sup> ]
Radio dinámico	0.305	[m]
Gravedad	9.81	[m/s <sup>2</sup> ]
Densidad del aire	0.9069028	[kg/m <sup>3</sup> ]

Los parámetros presentados en la Tabla 3 fueron definidos a partir de información técnica y valores reportados en la literatura. En particular, el coeficiente aerodinámico se adoptó como Cd=0.7, con base en correlaciones para trenes de velocidad media [13]; el coeficiente de rodadura se estableció en fr=0.002, considerando valores típicos para sistemas rueda-riel [14] y el área frontal se estimó en A=8.5m<sup>2</sup>, a partir de las dimensiones geométricas del vehículo y valores de referencia reportados en la literatura [11], [15]

### C. Modelado energético del tranvía

La resistencia aerodinámica, asociada a la interacción del vehículo con el aire, se expresa como [11]:

$$F_d = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho_a \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$\rho_a$ : Densidad del aire [Kg/m<sup>3</sup>]

$C_d$ : Coeficiente de arrastre [-]

A: Área frontal [m<sup>2</sup>]

V: Velocidad [m/s]

Por su parte, la resistencia a la rodadura, originada por el contacto entre las ruedas y la superficie de circulación, se calcula mediante [11]:

$$R_x = f_r \cdot m \cdot g \cdot \text{Cos}(\theta) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

Rx: fuerza de resistencia a la rodadura (N)

Fr: Coeficiente de resistencia a la rodadura

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

θ: Pendiente en radianes

La resistencia debida a la pendiente del terreno está dada por [11]:

$$R_g = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

m: Masa del vehículo [kg].

g: Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

θ: Pendiente en radianes

Finalmente, el efecto de la inercia, relacionado con los cambios de velocidad del vehículo, se determina como [11]:

$$R_i = m \cdot a \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

m: Masa del vehículo [kg]

a: Aceleración del vehículo [m/s<sup>2</sup>]

La fuerza total que actúa sobre el tranvía se obtiene como la suma de las fuerzas previamente definidas [11]:

$$F = F_d + R_x + R_g + R_i \quad \text{Ec. (5)}$$

La potencia requerida en rueda, asociada al movimiento del vehículo, se obtiene a partir del producto entre la fuerza total y la velocidad, y puede expresarse como [11], [15]:

$$P = F \cdot v \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

P= Potencia [W]

F= Fuerza [N]

V= Velocidad [m/s]

De forma complementaria, el torque en las ruedas puede expresarse como [11], [15]:

$$T = F \cdot R_d \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

T= Torque en rueda en [Nm]

F = Fuerza total en rueda [N]

R<sub>d</sub>= Radio dinámico [m]

La energía correspondiente a cada componente se obtuvo a partir de la potencia a lo largo del tiempo, de acuerdo con [15]:

$$E = \int P \cdot dt \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

E= Energía [kWh]

dt= Variación de tiempo [s]

P= Potencia [W]

La simulación de la demanda energética del tranvía fue desarrollada en el entorno Matlab/Simulink, empleando como variables de entrada el tiempo, la velocidad y la pendiente del recorrido. A partir de estas variables, se calcularon las fuerzas que afectan el movimiento del tranvía, así como la potencia en rueda y la energía consumida mediante su integración en el tiempo, permitiendo representar el comportamiento energético del sistema bajo condiciones reales de operación.

De manera complementaria, se incorporó la lógica de frenado regenerativo con el fin de considerar la recuperación de energía durante las fases de desaceleración. Para ello, se adoptaron criterios similares a los empleados por Guñansaca [17], estableciendo que la regeneración se activa únicamente cuando se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones: potencia en rueda negativa ( $P < 0$ ), velocidad del vehículo mayor a 5 km/h ( $v > 5$  km/h) y aceleración mayor a -3 m/s<sup>2</sup> ( $a > -3$  m/s<sup>2</sup>).

Estas condiciones permiten identificar los intervalos en los que el tranvía opera en régimen de frenado con posibilidad de recuperación energética, evitando la inclusión de eventos no representativos. La energía recuperada se incorpora en el balance energético como una reducción de la demanda energética total del sistema.

En la Fig. 5 se presenta el diagrama del modelo de simulación energética desarrollado, el cual resume el proceso de cálculo de la demanda energética y la consideración del frenado regenerativo.

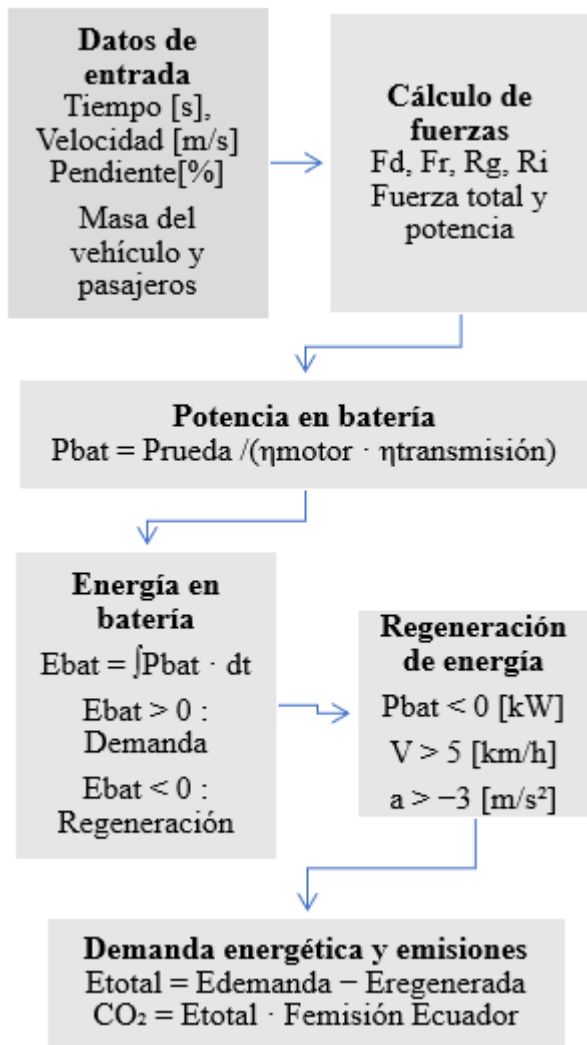


Fig. 5. Diagrama del modelo de simulación energética del tranvía, incluyendo el cálculo de fuerzas, la determinación de la potencia en rueda, la separación entre tracción y frenado regenerativo, y el balance energético final.

#### D. Análisis de componentes energéticos

Con el fin de analizar la contribución de cada componente energética en el comportamiento del tranvía, se determinó el porcentaje que representa cada tipo de energía respecto al total para ambos sentidos de operación, cuyos resultados se muestran en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Ponderación energías sentido RT – PI.

Ponderación Sentido Río Tarqui - Parque Industrial	
Energía	Porcentaje que representa
Energía de arrastre (EFd)	0.83
Energía de rodadura (ERx)	3.69
Energía de pendiente (ERg)	43.77
Energía de inercia (ERi)	51.71

Tabla 5. Ponderación energías sentido PI – RT.

Ponderación Sentido Parque Industrial - Río Tarqui	
Energía	Porcentaje que representa
Energía de arrastre (EFd)	0.79
Energía de rodadura (ERx)	3.36
Energía de pendiente (ERg)	57.95
Energía de inercia (ERi)	37.91

E. Selección del ciclo típico de conducción. Finalmente, se evaluó qué tan cercano era cada recorrido al comportamiento promedio del conjunto mediante el método de mínimas diferencias ponderadas [16]:

$$|ERi,x-ERi| \cdot POND Ri + |ERx,x-ERx| \cdot POND Rx + |ERg,x-ERg| \cdot POND Rg + |EFd,x-EFd| \cdot POND Fd \quad Ec. (9)$$

Donde:

ERi,x = Energía de inercia

ERx,x = Energía de rodadura

ERg,x = Energía de pendiente

EFd,x = Energía de arrastre

#### F. Cálculo de emisiones.

Para la estimación de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo energético del tranvía, se empleó el factor de emisión del sistema eléctrico ecuatoriano correspondiente al año 2024, con un valor de 0.1616 tCO<sub>2</sub>/MWh reportado por el Centro Nacional de Control de Energía [7]. Este factor permite relacionar la energía eléctrica consumida con las emisiones generadas en la matriz de generación nacional.

Las emisiones fueron calculadas a partir de la siguiente relación, ampliamente utilizada en estudios de análisis energético y ambiental [7]

$$ECO_2 = E \cdot FE \quad Ec. (10)$$

E = Energía consumida [kWh]

FE = Factor de emisión del sistema eléctrico [tCO<sub>2</sub>/MWh].

### III. Resultados

A partir de la aplicación del método de mínimas diferencias ponderadas, se determinó que los recorridos N.º 7 de 30 en el sentido Parque Industrial – Río Tarqui (PI-RT) y N.º 18 de 30 en el sentido Río Tarqui – Parque Industrial (RT-PI) presentan los menores valores de desviación respecto al promedio de rutas

analizadas. Por esta razón, dichos recorridos fueron seleccionados como ciclos típicos de conducción para cada sentido de operación del tranvía. En la Tabla 6 se presentan los recorridos seleccionados y sus tiempos de duración, mientras que en la Tabla 7 se muestran las principales características dinámicas asociadas a cada ruta. Por otro lado, en las Figuras 6 y 7 se presentan los perfiles de velocidad y tiempo correspondientes a cada sentido de operación.

Tabla 6. Ciclo típico de conducción

Ruta	Fecha	Hora Inicio	Hora final	Tiempo [s]
RT – PI	30/3/2026	13:10:41	13:43:42	1967
PI - RT	29/1/2026	11:58:27	12:29:44	1817

Tabla 7. Datos de las rutas seleccionadas

	RT - PI	PI – RT
Número de Paradas	19	20
Distancia [m]	9759.35	9382.92
Velocidad máxima [Km/h]	48.76	52.46
Velocidad promedio Total [km/h]	17.83	18.59
Aceleración máxima [m/s <sup>2</sup> ]	0.96	0.92
Aceleración promedio positiva [m/s <sup>2</sup> ]	0.22	0.22
Aceleración promedio negativa [m/s <sup>2</sup> ]	-0.24	-0.28
Pendiente máxima [%]	7.01	12.36
Pendiente mínima [%]	-9.44	-11.45
Pendiente promedio positiva [%]	2.08	2.87
Pendiente promedio negativa [%]	-3.48	-3.25

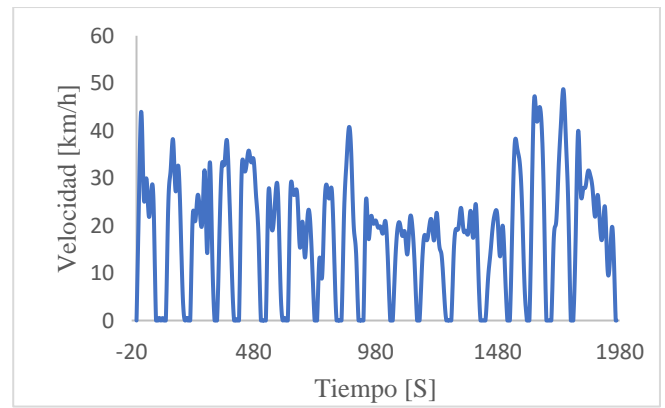


Fig. 6. Ciclo de conducción seleccionado sentido Río Tarqui – Parque Industrial.

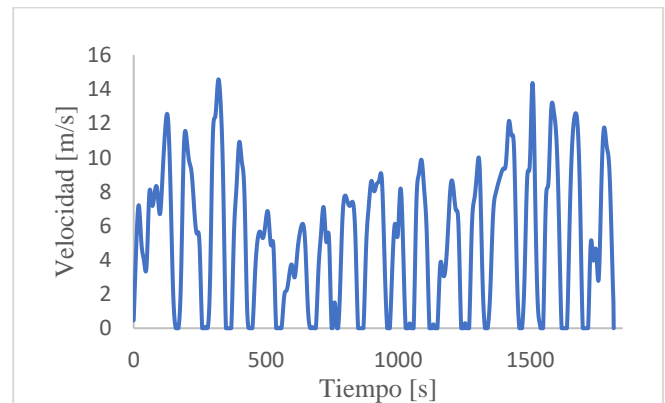


Fig. 7. Ciclo de conducción seleccionado Parque Industrial – Río Tarqui.

Una vez obtenidos los ciclos típicos de conducción para cada sentido de operación, se realizó la estimación de la demanda energética del tranvía y del factor de emisión asociado a su funcionamiento. Para ello, se utilizaron como base los datos de pendiente, velocidad, distancia y tiempo correspondientes a los ciclos típicos seleccionados.

Para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación, se definieron distintos escenarios de análisis, correspondientes a hora pico, hora valle y fin de semana. En cada uno de estos escenarios se incorporó la variación de la carga del tranvía mediante conteos de pasajeros realizados en campo, los cuales permitieron estimar la masa total del vehículo en función de la ocupación.

Los registros detallados de los conteos de pasajeros y de las rutas utilizadas para cada escenario de operación se presentan en los Anexos A–H.

Esto permitió analizar la influencia de la demanda de pasajeros en la demanda energética del sistema

y en las emisiones indirectas asociadas a su operación. Los resultados obtenidos para la demanda energética y el rendimiento energético expresado en km/kWh en los sentidos RT-PI y PI-RT se presentan en las Tablas 8 y 9, respectivamente.

Tabla 8. Demanda energética (RT-PI) en diferentes escenarios

Escenario	Demanda energética [kWh]	km/kWh
Hora Valle	9.146	1.12
Hora Pico	9.577	1.07
Fin de semana	9.051	1.13

Tabla 9. Demanda energética (PI-RT) en diferentes escenarios

Escenario	Demanda energética [kWh]	km/kWh
Hora Valle	24.26	0.42
Hora Pico	25.05	0.41
Fin de semana	23.15	0.44

A partir de la demanda energética obtenida para cada escenario, se procedió a la estimación del factor de emisión del sistema, con el fin de cuantificar las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> asociadas a la operación del tranvía. Los resultados correspondientes a las emisiones estimadas para los sentidos RT-PI y PI-RT se presentan en las Tablas 10 y 11, respectivamente.

Tabla 10. Factores de emisión por pasajero – km (RT-PI).

Escenario	Emisiones			
	kg CO <sub>2</sub> /ruta	g CO <sub>2</sub> /pasajero - km	Pasajeros transportados	Sentido
Hora Valle	1.478	1.53	99	RT-PI
Hora Pico	1.548	0.896	177	RT-PI
Fin de semana	1.463	1.629	92	RT-PI
Promedio	1.496	1.351	-	-

Tabla 11. Factores de emisión por pasajero – km (PI – RT)

Escenario	Emisiones			
	kg CO <sub>2</sub> /ruta	g CO <sub>2</sub> /pasajero - km	Pasajeros transportados	Sentido
Hora Valle	3.921	2.662	157	PI – RT
Hora Pico	4.048	1.836	235	PI – RT
Fin de semana	3.741	6.134	65	PI – RT
Promedio	3.903	3.544	-	-

De manera complementaria, se realizó una comparación entre la demanda energética estimada mediante el modelo desarrollado y los datos reales de consumo energético proporcionados por la administración del Tranvía de Cuenca para los meses de diciembre de 2025 a marzo de 2026. Para ello, se consideraron los distintos escenarios de operación analizados y el número de viajes registrados por el sistema durante cada período.

Los resultados de la comparación entre la demanda energética estimada y la demanda energética real del sistema se presentan en la Tabla 12. A partir de estos valores, se elaboró la correlación mostrada en la Fig. 8, donde se observa una tendencia similar entre ambos conjuntos de datos.

Tabla 12. Comparación entre la demanda energética mensual estimada mediante el modelo desarrollado y la demanda energética real reportada por el sistema tranviario para los meses analizados.

Mes	No. de viajes	Demanda energética estimada [kWh]	Demanda energética real [kWh]	Diferencia [%]
dic-25	5956	199620.29	274097	27.17
ene-26	5584	186990.58	253656	26.28
feb-26	5030	168392.18	224323	24.93
mar-26	5591	187248.79	255336	26.67

Adicionalmente, el análisis de correlación presentó un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0.9993, lo que evidencia una relación consistente entre los valores obtenidos mediante el modelo desarrollado y los datos reales reportados por el sistema tranviario. No obstante, debido a que la validación se realizó únicamente con la información disponible correspondiente a cuatro meses de operación, una base de datos más extensa permitiría complementar el análisis estadístico y fortalecer la validación del modelo energético desarrollado.

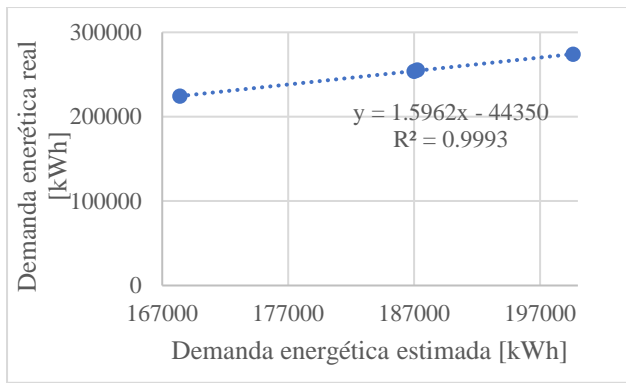


Fig. 8. Comparación entre la demanda energética estimada y real del Tranvía de Cuenca.

Para contextualizar los resultados obtenidos, se realizó una comparación de las emisiones promedio del tranvía de Cuenca con valores reportados en la literatura para otros medios de transporte urbano, incluyendo estudios de Guiñansaca [17], García [18], Andrade [19], así como reportes de organismos como la EEA/DEFRA [20] y bases de datos globales como Our World in Data [21]. Esta comparación permite ubicar el desempeño energético y ambiental del sistema dentro de un marco referencial más amplio, considerando diferentes tecnologías y condiciones de operación.

Adicionalmente, para los casos correspondientes a los estudios de Guiñansaca [17] y García [18], se realizó una estimación de sus factores de emisión empleando el valor del factor de emisión del sistema eléctrico ecuatoriano correspondiente al año 2024 [7], con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados bajo condiciones homogéneas en cuanto a la matriz energética utilizada.

Tabla 13. Tabla de comparación con otros medios de transporte

Medio de transporte	Emisiones específicas g CO <sub>2</sub> /pa-km	Fuente
Tranvía de Cuenca	1.351 – 3.533	Presente investigación
Bus eléctrico urbano	4.44	[17]
Río de Janeiro Metro	13.9	[19]
Tren ligero / tranvía promedio	28.32	[20]
Bus urbano (China promedio)	56.2	[22]
Automóvil particular	170	[21]

#### IV. Conclusiones

Se determinó el ciclo típico de conducción del Tranvía de Cuenca para ambos sentidos de operación, identificándose los recorridos N.º 7 (PI-RT) y N.º 18 (RT-PI) como representativos, al presentar la menor desviación respecto al comportamiento promedio del conjunto de datos.

La demanda energética obtenida a partir del ciclo típico evidenció diferencias entre sentidos de operación. Para el sentido Río Tarqui-Parque Industrial (RT-PI), se obtuvo una demanda promedio de 9.26 kWh, con valores comprendidos entre 9.05 y 9.57 kWh, considerando el conteo de pasajeros en cada escenario.

En el sentido Parque Industrial-Río Tarqui (PI-RT) se registró una demanda promedio de 24.15 kWh, con valores entre 23.15 y 25.05 kWh, correspondientes a distintos escenarios de operación con su respectivo conteo de pasajeros. Estos resultados se asocian principalmente a las características del trayecto, en particular la pendiente.

En cuanto al factor de emisión, se determinó que las emisiones totales se encuentran en el orden de 1.46 a 1.55 kg CO<sub>2</sub> para el sentido RT-PI, variando en función del escenario de operación. Estos valores están directamente relacionados con la demanda energética del sistema.

Al analizar las emisiones específicas, se obtuvo un rango de aproximadamente 0.8458 a 6.134 g CO<sub>2</sub>/pasajero·km, evidenciando que en condiciones de menor ocupación (hora valle y fin de semana) el impacto ambiental por pasajero aumenta, mientras que en hora pico disminuye debido a una mayor distribución del consumo energético entre los usuarios.

Además, la comparación entre la demanda energética estimada y la demanda energética real reportada por el sistema tranviario presentó un coeficiente de determinación  $R^2=0.9993$ , evidenciando una relación consistente entre los resultados obtenidos mediante el modelo desarrollado y los datos reales de operación disponibles para los meses analizados.

La comparación con otros medios de transporte mostró que el tranvía presenta valores de emisiones específicas inferiores frente a sistemas como el bus urbano (5.92 gCO<sub>2</sub>/pasajero·km), metro (13.9 gCO<sub>2</sub>/pasajero·km) y automóvil particular (170 gCO<sub>2</sub>/pasajero·km), posicionándolo como una alternativa de transporte con bajo impacto ambiental en el contexto urbano.

Se recomienda disponer de un mayor número de datos mensuales de consumo energético y operación del sistema tranviario, con el fin de complementar el análisis estadístico y mejorar la representatividad del coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9993$  obtenido durante la validación del modelo energético. Asimismo, se recomienda promover estrategias que incrementen la ocupación del tranvía en horarios de baja demanda, con el propósito de reducir las emisiones específicas por pasajero-kilómetro.

## V. Referencias

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo and Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, “Metodología para la formulación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) mediante procesos participativos e inclusivos: experiencia Ecuador,” 2020. [Online]. Available: [https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research\\_report\\_document/undp-ndcsp-ecuador-methodology-participatory-approach.pdf](https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research_report_document/undp-ndcsp-ecuador-methodology-participatory-approach.pdf)
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo and Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, *Metodología para la formulación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional mediante procesos participativos e inclusivos: experiencia Ecuador*. Quito, Ecuador: PNUD, 2020. [Online]. Available: [https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research\\_report\\_document/undp-ndcsp-ecuador-methodology-participatory-approach.pdf](https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research_report_document/undp-ndcsp-ecuador-methodology-participatory-approach.pdf)
- [3] Municipio de Cuenca, “Plan de Movilidad y Espacios Públicos del Cantón Cuenca 2021–2030,” 2021, *Cuenca, Ecuador*.
- [4] PAULO GARCIA, “Ruta planeada del tranvía de la ciudad de Cuenca, Ecuador [Mapa],” Sep. 2011.
- [5] Primicias.ec, “Qué debe saber del tranvía cuencano y cómo opera,” 2025. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/debe-saber-tranvia-cuencano-opera/>
- [6] International Energy Agency (IEA), “Emission Factors 2021: Annual GHG emission factors for world countries from electricity and heat generation,” 2021, *International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/emissions-factors-2021>
- [7] Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), “Informe Anual CENACE 2024,” 2024. [Online]. Available: <https://www.cenace.gob.ec>
- [8] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), “Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador: Informe 2024,” 2024. [Online]. Available: <https://www.arconel.gob.ec>
- [9] R. Medina, “Modeling of the Citadis-302 Tram Implemented in the City of Cuenca Using Matlab - Simulink,” *Revista Técnica CENACE*, 2016, [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/53/51>
- [10] Ortega Pintado Jaime Luis and Pillco Criollo Juan Javier, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,” Cuenca, May 2017.
- [11] T. D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale, PA: SAE International, 1992.
- [12] I. Energy Agency, “World Energy Outlook 2024,” 2024. [Online]. Available: [www.iea.org/terms](http://www.iea.org/terms)

- [13] C. J. Baker, *Train Aerodynamics: Fundamentals and Applications*. Oxford, UK: Elsevier, 2019.
- [14] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
- [15] L. Guzzella and A. Sciarretta, *Vehicle propulsion systems: Introduction to modelling and optimization*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35913-2>
- [16] K. Cedillo, “Análisis y modelación del consumo energético en vehículos de transporte,” 2013, *Ecuador*.
- [17] W. Guiñansaca, “Análisis energético y modelación de buses eléctricos urbanos en la ciudad de Cuenca,” 2023, *Cuenca, Ecuador*.
- [18] B. García, “Evaluación del consumo energético en buses urbanos mediante ciclos de conducción representativos,” 2022, *Cuenca, Ecuador*.
- [19] M. Andrade, M. D’Agosto, and S. Ribeiro, “Energy consumption and emissions analysis of metro systems,” *Transp. Res. D Transp. Environ.*, vol. 41, pp. 1–10, 2015.
- [20] European Environment Agency (EEA), F. Department for Environment, and R. A. (DEFRA), “Emission factors for transport,” 2019.
- [21] Our World in Data, “CO2 emissions from transport,” 2023.
- [22] J. Zheng, X. Li, and Y. Wang, “Energy consumption and emissions of urban buses in China,” *Energy*, vol. 263, p. 125678, 2023.

## VI. Anexos

Anexo A. Datos GPS de las rutas en las que se realizó el conteo de pasajeros

Ruta	Sentido	Tiempo	Distancia	Velocidad		HORARIOS			
		[s]	[m]	MAX	PROM	DÍA	HORA INICIO	HORA FIN	HORA P-V
27	IDA	1937	9238.31	54.77	17.16	Fri Apr 10 2026	11:01:27	11:34:04	VALLE
28	REGRESO	2015	9587.28	47.44	17.12	Fri Apr 10 2026	11:39:28	12:13:26	VALLE
29	IDA	2211	9430.70	49.99	15.35	Fri Apr 10 2026	12:24:13	13:01:07	PICO
30	REGRESO	2071	9432.56	51.23	16.39	Fri Apr 10 2026	13:03:48	13:38:19	PICO
12	IDA	1897	9612.78	50.03	18.23	Sat Feb 21 2026	17:02:35	17:36:54	VALLE FIN DE SEMANA
13	REGRESO	1950	9682.26	51.04	17.87	Sat Feb 21 2026	17:41:53	18:14:23	VALLE FIN DE SEMANA

Anexo B Conteo de pasajeros día viernes 10 de abril del 2026 11:00 AM

Conteo de pasajeros HORA VALLE Río Tarqui - Parque Industrial							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	14	0	14	6.76328502	pasajeros	19.8830409	980
Estación 2	7	0	21	10.1449275	pasajeros		1470
Estación 3	13	1	33	15.942029	pasajeros		2310
Estación 4	6	0	39	18.8405797	pasajeros		2730
Estación 5	4	0	43	20.7729469	pasajeros		3010
Estación 6	9	1	51	24.6376812	pasajeros		3570
Estación 7	9	2	58	28.0193237	pasajeros		4060
Estación 8	6	0	64	30.9178744	pasajeros		4480
Estación 9	6	0	70	33.8164251	pasajeros		4900
Estación 10	2	2	70	33.8164251	pasajeros		4900
Estación 11	8	5	73	35.2657005	pasajeros		5110
Estación 12	8	15	66	31.884058	pasajeros		4620
Estación 13	6	24	48	23.1884058	pasajeros		3360
Estación 14	1	8	41	19.8067633	pasajeros		2870
Estación 15	0	2	39	18.8405797	pasajeros		2730
Estación 16	0	16	23	11.1111111	pasajeros		1610
Estación 17	0	5	18	8.69565217	pasajeros		1260
Estación 18	0	7	11	5.31400966	pasajeros		770
Estación 19	0	11	0	0	pasajeros		
	99	99			pasajeros		

Anexo C Conteo de pasajeros día viernes 10 de abril del 2026 11:40 AM

Conteo de pasajeros hora valle Río Tarqui - Parque Industrial							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	22	0	22	10.6280193	pasajeros	29.2906178	1540
Estación 2	7	1	28	13.52657	pasajeros		1960
Estación 3	17	0	45	21.7391304	pasajeros		3150
Estación 4	15	1	59	28.5024155	pasajeros		4130
Estación 5	6	7	58	28.0193237	pasajeros		4060
Estación 6	18	5	71	34.2995169	pasajeros		4970
Estación 7	27	11	87	42.0289855	pasajeros		6090
Estación 8	9	6	90	43.4782609	pasajeros		6300
Estación 9	5	4	91	43.9613527	pasajeros		6370
Estación 10	4	7	88	42.5120773	pasajeros		6160
Estación 11	3	10	81	39.1304348	pasajeros		5670
Estación 12	3	2	82	39.6135266	pasajeros		5740
Estación 13	6	13	75	36.2318841	pasajeros		5250
Estación 14	0	14	61	29.468599	pasajeros		4270
Estación 15	13	12	62	29.9516908	pasajeros		4340
Estación 16	0	11	51	24.6376812	pasajeros		3570
Estación 17	2	5	48	23.1884058	pasajeros		3360
Estación 18	0	15	33	15.942029	pasajeros		2310
Estación 19	0	13	20	9.66183575	pasajeros		1400
Estación 20	0	20			pasajeros		0
	157	157			pasajeros		

Anexo D Coteo de pasajeros día viernes 10 de abril del 2026 12:20 PM

Coteo de pasajeros hora valle Río Tarqui - Parque Industrial							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	23	0	23	11.11111111	pasajeros	33.0027968	1610
Estación 2	21	0	44	21.2560386	pasajeros		3080
Estación 3	19	1	62	29.9516908	pasajeros		4340
Estación 4	6	0	68	32.8502415	pasajeros		4760
Estación 5	9	2	75	36.2318841	pasajeros		5250
Estación 6	18	1	92	44.44444444	pasajeros		6440
Estación 7	10	2	100	48.3091787	pasajeros		7000
Estación 8	8	1	107	51.6908213	pasajeros		7490
Estación 9	4	4	107	51.6908213	pasajeros		7490
Estación 10	3	7	103	49.7584541	pasajeros		7210
Estación 11	12	11	104	50.2415459	pasajeros		7280
Estación 12	15	22	97	46.8599034	pasajeros		6790
Estación 13	17	25	89	42.9951691	pasajeros		6230
Estación 14	7	17	79	38.1642512	pasajeros		5530
Estación 15	2	12	69	33.33333333	pasajeros		4830
Estación 16	1	29	41	19.8067633	pasajeros		2870
Estación 17	2	22	21	10.1449275	pasajeros		1470
Estación 18		4	17	8.21256039	pasajeros		1190
Estación 19		17	0	0	pasajeros		
	177	177			pasajeros		

Conteo de pasajeros hora valle Río Tarqui - Parque Industrial							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	15	0	15	7.24637681	pasajeros	43.5036868	1050
Estación 2	14	0	29	14.0096618	pasajeros		2030
Estación 3	37	0	66	31.884058	pasajeros		4620
Estación 4	20	5	81	39.1304348	pasajeros		5670
Estación 5	7	7	81	39.1304348	pasajeros		5670
Estación 6	9	10	80	38.647343	pasajeros		5600
Estación 7	37	11	106	51.2077295	pasajeros		7420
Estación 8	42	9	139	67.1497585	pasajeros		9730
Estación 9	14	8	145	70.0483092	pasajeros		10150
Estación 10	12	13	144	69.5652174	pasajeros		10080
Estación 11	1	12	133	64.2512077	pasajeros		9310
Estación 12	1	7	127	61.352657	pasajeros		8890
Estación 13	9	14	122	58.9371981	pasajeros		8540
Estación 14	6	19	109	52.6570048	pasajeros		7630
Estación 15	11	15	105	50.7246377	pasajeros		7350
Estación 16	0	18	87	42.0289855	pasajeros		6090
Estación 17	0	21	66	31.884058	pasajeros		4620
Estación 18	0	19	47	22.705314	pasajeros		3290
Estación 19	0	18	29	14.0096618	pasajeros		2030
Estación 20	0	29			pasajeros		0
	235	235			pasajeros		

Anexo F.. Cuento de pasajeros día sábado 21 de febrero del 2026 17:00 PM

Cuento de pasajeros fin de semana Río Tarqui - Parque Industrial							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	16	0	16	7.7294686	pasajeros	16.8573608	1120
Estación 2	5	0	21	10.1449275	pasajeros		1470
Estación 3	10	1	30	14.4927536	pasajeros		2100
Estación 4	4	0	34	16.4251208	pasajeros		2380
Estación 5	3	0	37	17.8743961	pasajeros		2590
Estación 6	11	1	47	22.705314	pasajeros		3290
Estación 7	9	2	54	26.0869565	pasajeros		3780
Estación 8	5	0	59	28.5024155	pasajeros		4130
Estación 9	3	0	62	29.9516908	pasajeros		4340
Estación 10	1	7	56	27.0531401	pasajeros		3920
Estación 11	7	6	57	27.5362319	pasajeros		3990
Estación 12	5	13	49	23.6714976	pasajeros		3430
Estación 13	7	18	38	18.3574879	pasajeros		2660
Estación 14	2	8	32	15.4589372	pasajeros		2240
Estación 15	4	2	34	16.4251208	pasajeros		2380
Estación 16	0	16	18	8.69565217	pasajeros		1260
Estación 17	0	5	13	6.28019324	pasajeros		910
Estación 18	0	7	6	2.89855072	pasajeros		420
Estación 19	0	6			pasajeros		
	92	92			pasajeros		

Anexo G Conteo de pasajeros día sábado 21 de febrero del 2026 17:00 PM

Conteo de pasajeros HORA VALLE Parque Industrial - Río Tarqui							
Paradas	Suben	Bajan	Abordo	% ocupación		% promedio	Masa [Kg]
Estación 1	8	0	8	3.8647343	pasajeros	12.1027206	560
Estación 2	0	2	6	2.89855072	pasajeros		420
Estación 3	7	0	13	6.28019324	pasajeros		910
Estación 4	8	0	21	10.1449275	pasajeros		1470
Estación 5	0	1	20	9.66183575	pasajeros		1400
Estación 6	4	2	22	10.6280193	pasajeros		1540
Estación 7	9	1	30	14.4927536	pasajeros		2100
Estación 8	6	3	33	15.942029	pasajeros		2310
Estación 9	3	4	32	15.4589372	pasajeros		2240
Estación 10	3	0	35	16.9082126	pasajeros		2450
Estación 11	4	0	39	18.8405797	pasajeros		2730
Estación 12	0	4	35	16.9082126	pasajeros		2450
Estación 13	5	3	37	17.8743961	pasajeros		2590
Estación 14	3	4	36	17.3913043	pasajeros		2520
Estación 15	0	3	33	15.942029	pasajeros		2310
Estación 16	0	7	26	12.5603865	pasajeros		1820
Estación 17	5	5	26	12.5603865	pasajeros		1820
Estación 18	0	12	14	6.76328502	pasajeros		980
Estación 19	0	4	10	4.83091787			700
Estación 20		10					
	65	65					



Fig. H1 Interior del Tranvía de Cuenca durante el proceso de conteo de pasajeros en condiciones reales de operación.

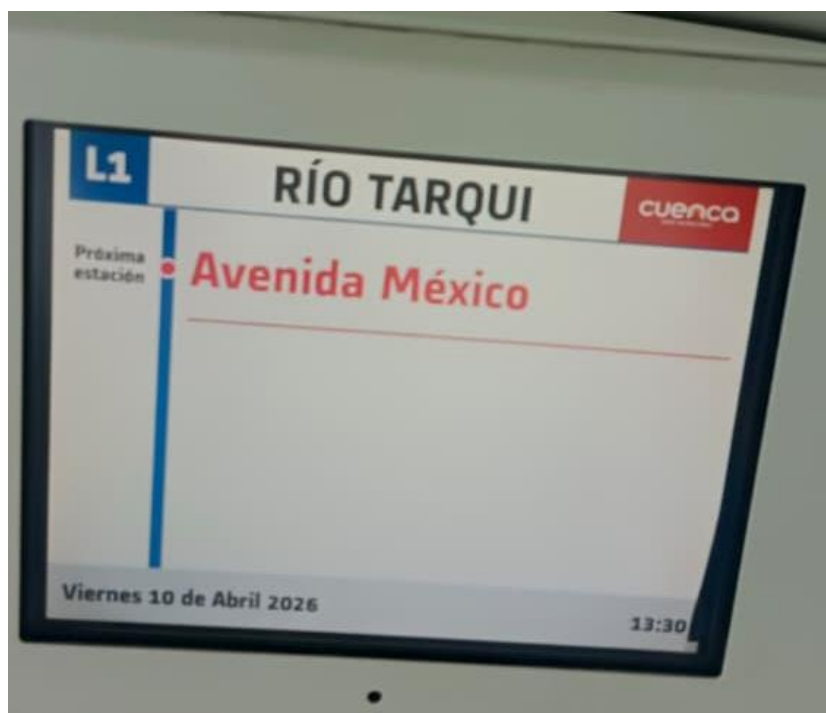


Fig. H2. Sistema de información del Tranvía de Cuenca con visualización de fecha y hora durante el recorrido de adquisición de datos.



*Fig. H3. Equipo de apoyo durante el proceso de conteo de pasajeros y levantamiento de información en campo.*